



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Off nlegungsschrift
⑩ DE 101 03 658 A 1

⑤ Int. Cl. 7: ✓
G 01 N 27/18

②① Aktenzeichen: 101 03 658.2
②② Anmeldetag: 27. 1. 2001
④③ Offenlegungstag: 22. 8. 2002

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Arndt, Michael, Dr., 72764 Reutlingen, DE

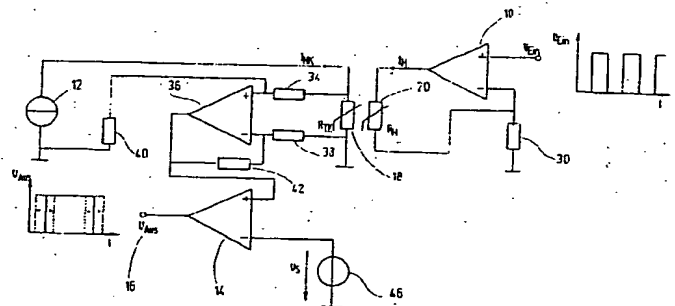
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 36 23 158 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit mit Mitteln (10) zum Bereitstellen einer Heizspannung, Mitteln (12) zum Bereitstellen eines Messstroms und Mitteln (18) zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls, wobei die Mittel (10) zum Bereitstellen einer Heizspannung eine sich zeitlich verändernde Heizspannung zur Verfügung stellen und Mittel (14) zum Vergleichen des temperaturabhängigen Spannungsabfalls mit einer Schwellenspannung und zum Erzeugen einer sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung vorgesehen sind. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit.



DE 101 03 658 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit mit Mitteln zum Bereitstellen einer Heizspannung, Mitteln zum Bereitstellen eines Messstroms und Mitteln zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit mit den Schritten: Bereitstellen einer Heizspannung, Bereitstellen eines Messstroms und Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls.

Stand der Technik

[0002] Gattungsgemäße Vorrichtungen und gattungsgemäße Verfahren werden beispielsweise zur Wärmeleitfähigkeitsmessung im Rahmen der Gasanalyse eingesetzt. Die Wärmeleitfähigkeitsmessung wird vor allem für quantitative Analysen zweikomponentiger Gasgemische eingesetzt. Zum Zwecke der quantitativen Analyse wird die Mischwärmeleitfähigkeit bei konstanter Gastemperatur gemessen. Besonders gut eignet sich die Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Bestimmung von Konzentrationen von Wasserstoff und Helium in einem Gemisch mit anderen Gasen, wie zum Beispiel Luft oder Stickstoff, da Wasserstoff und Helium jeweils eine hervorstechend hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen. Wärmeleitfähigkeiten λ typischer Gase sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1

Gas	H ₂	He	Luft	CO ₂	CO	N ₂
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]	0,184	0,15	0,026	0,016	0,025	0,026

[0003] Anhand von Fig. 1 werden die Prinzipien der Wärmeleitfähigkeitsmessung erläutert. Um die Wärmeleitfähigkeit λ eines Gases zu messen, wird ein Körper auf eine Temperatur T_K gebracht, welche größer ist, als die Temperatur des den Körper umgebenden Gases. Das Gas befindet sich auf Umgebungstemperatur T_U ($T_K > T_U$). Eine Heizleistung P_H wird benötigt, um die Temperaturdifferenz $\Delta T = T_K - T_U$ konstant zu halten. Diese Heizleistung P_H ist direkt proportional zur Wärmeleitfähigkeit λ des Gases:

$$P_H = K \lambda \Delta T.$$

[0004] In dieser Gleichung wird die Geometrie der Anordnung durch den konstanten Geometriefaktor K beschrieben.

[0005] Fig. 2 zeigt einen mikromechanischen Wärmeleitfähigkeitssensor auf Siliziumbasis. Derartige Sensoren werden zunehmend verwendet und weiterentwickelt, insbesondere, da sie aufgrund der Miniaturisierung einen geringen Leistungsverbrauch haben und eine kurze Ansprechzeit aufweisen. Fig. 2 zeigt im unteren Teil eine Draufsicht auf eine derartige Anordnung. Im oberen Teil ist eine Schnittansicht entlang der im unteren mit Pfeilen und einer Strich-Punkt-Linie gekennzeichneten Schnittebene dargestellt. Bei diesen Sensoren sind ein oder mehrere temperaturabhängige elektrische Widerstände 124 auf einer thermisch isolierten Membran 122 aufgebracht. Ein weiterer temperaturabhängiger Widerstand 126 ist außerhalb der Membran 122 aufgebracht; dieser wird für die Messung der Umgebungstemperatur T_U verwendet. Über die elektrischen Anschlüsse 128 wird den temperaturabhängigen Widerständen 124 eine erhöhte Temperatur vermittelt, so dass die Anordnung auf der Membran 122 als T_K -Sensor wirkt. Für die Ansteuerung der Sensoren werden verschiedene Verfahren eingesetzt. Entweder wird die Temperaturdifferenz $\Delta T = T_K - T_U$ zwischen Membran und umgebendem Gas konstant gehalten, und die dafür benötigte Heizleistung P_H wird gemessen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Heizleistung konstant zu halten; in diesem Fall wird die Temperaturdifferenz gemessen. Bei beiden Verfahren handelt es sich um statische Verfahren. Die Veränderung des dynamischen thermischen Verhaltens des Sensors wird nicht berücksichtigt.

[0006] Bei den statischen Verfahren ist die Messung kleiner Widerstandsänderungen erforderlich. Eine Messung von Widerständen erfolgt durch die Messung von Spannungen oder Strömen. Sollen nun diese wärmeleitfähigkeitsabhängigen Spannungs- oder Stromsignale digital weiterverarbeitet werden, so müssen sie nach einer Verstärkung in digitale Signale umgewandelt werden. Dies ist aufwendig, störanfällig und kostenintensiv.

[0007] Ein weiterer Nachteil der statischen Messverfahren besteht in dem relativ hohen Leistungsbedarf.

[0008] Weiterhin ist es nachteilig, dass bei statischen Messungen für die Konzentrationsbestimmung eines Gasgemisches zumeist bei einer oder mehreren bestimmten Temperaturdifferenzen gearbeitet wird. Es liegt somit keine kontinuierliche Information bezüglich der Wärmeleitfähigkeit in einem breiten Temperaturbereich vor.

Vorteile der Erfindung

[0009] Die Erfindung baut auf der gattungsgemäßen Vorrichtung dadurch auf, dass die Mittel zum Bereitstellen einer Heizspannung eine sich zeitlich verändernde Heizspannung zur Verfügung stellen und dass Mittel zum Vergleichen des temperaturabhängigen Spannungsabfalls mit einer Schwellenspannung und zum Erzeugen einer sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung vorgesehen sind. Auf diese Weise ist es möglich, statt einer aufwendigen und störanfälligen Messung wärmeleitfähigkeitsabhängiger analoger Spannungen und Ströme, die Wärmeleitfähigkeit auf der Grundlage einer Zeitmessung zu bestimmen. Die Wärmeleitfähigkeit lässt sich aus der zeitlichen Charakteristik der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung bestimmen.

[0010] Die Erfindung ist besonders dadurch vorteilhaft, dass die Ausgangsspannung einen ersten Wert hat, wenn der

temperaturabhängige Spannungsabfall unterhalb der Schwellenspannung liegt, und dass die Ausgangsspannung einen zweiten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall oberhalb der Schwellenspannung liegt. Bestimmt man in Kenntnis der zeitlichen Veränderung der Heizspannung die Zeiten, zu welchen die Ausgangsspannung den einen oder den anderen Wert hat, so lässt sich hieraus ein Rückschluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Umgebungsgases ziehen.

[0011] Es ist vorteilhaft, wenn die Mittel zum Bereitstellen einer Heizspannung eine periodisch gepulste Heizspannung zur Verfügung stellen. Durch die gepulste Heizspannung stehen definierte Referenzzeitpunkte zur Verfügung, welche für das Ermitteln des zeitlichen Verlaufs des Spannungsabfalls verwendet werden können. Ferner wird aufgrund der Verwendung einer gepulsten Ansteuerung der Leistungsbedarf des Sensors verringert. Dies ist vor allem für Überwachungsaufgaben von Vorteil.

[0012] Bevorzugt sind Mittel zum digitalen Auswerten der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung vorgesehen. Da es auf der Grundlage der vorliegenden Erfindung nicht mehr erforderlich ist, analoge Spannungen beziehungsweise analoge Ströme zu messen, sind aufwendige Analog-Digital-Wandler entbehrlich. Vielmehr ist es möglich, die Ausgangsspannung direkt digital auszuwerten.

[0013] Dabei ist es von Vorteil, wenn die Mittel zum digitalen Auswerten der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung einen Zähler aufweisen und wenn ein Tastverhältnis der Ausgangsspannung ausgewertet wird. Es werden somit die Zeiträume gemessen, während derer sich die Ausgangsspannung auf ihren unterschiedlichen Werten befindet. Hieraus lassen sich dann die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten berechnen.

[0014] Vorzugsweise umfassen die Mittel zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls einen temperaturabhängigen Widerstand. Bei temperaturabhängigen Widerständen hängt der Spannungsabfall bei gegebenem durch den Widerstand fließenden Strom von der Temperatur ab, so dass der Spannungsabfall ein direktes Maß für die Temperatur des temperaturabhängigen Widerstandes ist.

[0015] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der temperaturabhängige Widerstand ein Platinwiderstand ist. Platinwiderstände zeigen eine geeignete Variation des Widerstandes in Temperaturbereichen, welche für viele Anwendungen interessant sind.

[0016] Es ist nützlich, dass die Mittel zum Bereitstellen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls auf einer Membran angeordnet sind. Eine solche Membran hat aufgrund ihrer geringen Masse eine vergleichsweise geringe Wärmekapazität, so dass die Anordnung ein gutes Ansprechverhalten aufweist.

[0017] Nützlicherweise wirken die Mittel zum Bereitstellen einer Heizspannung mit einem Heizwiderstand zusammen. Dies ist eine besonders einfache Weise, eine sich zeitlich verändernde Heizleistung zur Verfügung zu stellen.

[0018] Dabei kann es sich unter Umständen als vorteilhaft erweisen, dass die Mittel zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls und der Heizwiderstand identisch sind. Auf diese Weise erreicht man eine Integration von Funktionen in einem einzigen Bauteil, nämlich dem temperaturabhängigen Widerstand. In diesem Fall wird bei der Messung der Membrantemperatur bei einem bekannten Heizstrom die Heizspannung über dem Heizwiderstand ausgewertet. In diesem Fall sollte der Heizstrom während der Abkühlung der Membran allerdings nicht auf Null sinken, damit der für die Messung der Abkühlkurve erforderliche Strom zur Verfügung steht.

[0019] Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen Verfahren dadurch auf, dass eine sich zeitlich verändernde Heizspannung zur Verfügung gestellt wird, dass der temperaturabhängige Spannungsabfall mit einer Schwellenspannung verglichen wird und dass eine sich zeitlich verändernde Ausgangsspannung erzeugt wird. Auf diese Weise ist es möglich, statt einer aufwendigen und störanfälligen Messung wärmeleitfähigkeitsabhängiger analoger Spannungen und Ströme, die Wärmeleitfähigkeit auf der Grundlage einer Zeitmessung zu bestimmen. Die Wärmeleitfähigkeit lässt sich gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren aus der zeitlichen Charakteristik der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung bestimmen.

[0020] Das Verfahren ist besonders dadurch vorteilhaft weitergebildet, dass die Ausgangsspannung einen ersten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall unterhalb der Schwellenspannung liegt, und dass die Ausgangsspannung einen zweiten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall oberhalb der Schwellenspannung liegt. Bestimmt man in Kenntnis der zeitlichen Veränderung der Heizspannung die Zeiten, zu welchen die Ausgangsspannung den einen oder den anderen Wert hat, so lässt sich hieraus ein Rückschluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Umgebungsgases ziehen.

[0021] Nützlicherweise wird eine periodisch gepulste Heizspannung zur Verfügung gestellt. Durch die gepulste Heizspannung stehen definierte Referenzzeitpunkte zur Verfügung, welche für das Ermitteln des zeitlichen Verlaufs des Spannungsabfalls verwendet werden können. Ferner wird aufgrund der Verwendung einer gepulsten Ansteuerung ein Verfahren mit verringertem Leistungsbedarf zur Verfügung gestellt. Dies ist vor allem für Überwachungsaufgaben von Vorteil.

[0022] Es ist von besonderem Vorteil, wenn die sich zeitlich verändernde Ausgangsspannung digital ausgewertet wird. Da es auf der Grundlage der vorliegenden Erfindung nicht mehr erforderlich ist, analoge Spannungen beziehungsweise analoge Ströme zu messen, sind aufwendige Analog-Digital-Wandler entbehrlich. Das Verfahren bietet vielmehr die Möglichkeit, die Ausgangssignale direkt digital auszuwerten.

[0023] Das Verfahren ist dadurch vorteilhaft weitergebildet, dass zur digitalen Auswertung der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung ein Zähler verwendet wird und dass ein Tastverhältnis der Ausgangsspannung ausgewertet wird. Es werden somit die Zeiträume gemessen, während derer sich die Ausgangsspannung auf ihren unterschiedlichen Werten befindet. Hieraus lassen sich dann die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten berechnen.

[0024] Es ist von Vorteil, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall mittels eines temperaturabhängigen Widerstandes erzeugt wird.

[0025] Vorzugsweise wird als temperaturabhängiger Widerstand ein Platinwiderstand verwendet. Bei temperaturabhängigen Widerständen hängt der Spannungsabfall bei gegebenem durch den Widerstand fließenden Strom von der Temperatur ab, so dass das Verfahren in vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet ist, dass der Spannungsabfall als direktes Maß für die Temperatur des temperaturabhängigen Widerstandes verwendet wird.

[0026] Das Verfahren kann in vorteilhafter Weise so ausgeführt werden, dass zum Bereitstellen einer Heizleistung ein Heizwiderstand verwendet wird. Dies ist eine besonders einfache Weise, eine sich zeitlich verändernde Heizleistung zur

Verfügung zu stellen.

[0027] Mitunter kann es nützlich sein, dass als temperaturabhängiger Widerstand und als Heizwiderstand derselbe Widerstand verwendet wird. Das Verfahren bietet somit die Möglichkeit, Komponenten zu integrieren.

[0028] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass es möglich ist, anstatt einer aufwendigen und störanfälligen Messung wärmeleitfähigkeitsabhängiger analoger Spannungen und Ströme, eine Zeitmessung durchzuführen. Auf diese Weise lässt sich direkt eine digitale Auswertelektronik einsetzen, ohne vor der digitalen Auswertung eine aufwendige Analog-Digital-Wandlung durchzuführen. Durch die Verwendung einer gepulsten Ansteuerung wird der Leistungsbedarf des Sensors verringert. Die Erfindung ermöglicht es ferner, die Empfindlichkeit der Auswertelektronik gezielt einem interessierenden Wärmeleitfähigkeitsbereich anzupassen. Somit lassen sich Informationen über die Wärmeleitfähigkeit in einem weiten Temperaturbereich gewinnen.

Zeichnungen

[0029] Die Erfindung wird nun mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.

[0030] Dabei zeigt:

[0031] Fig. 1 ist eine Darstellung zur Erläuterung des Prinzips einer Wärmeleitfähigkeitsmessung;

[0032] Fig. 2 zeigt den Aufbau eines mikromechanischen Wärmeleitfähigkeitssensors;

[0033] Fig. 3 zeigt ein Ersatzschaltbild zur Erläuterung der Erfindung;

[0034] Fig. 4 zeigt zwei Diagramme zur Erläuterung der Erfindung;

[0035] Fig. 5 zeigt ein Diagramm zur Erläuterung der Erfindung;

[0036] Fig. 6 zeigt eine Schaltskizze und zwei Diagramme zur Erläuterung der Erfindung;

[0037] Fig. 7 zeigt zwei Diagramme zur Erläuterung der Erfindung;

[0038] Fig. 8 zeigt zwei Diagramme zur Erläuterung der Erfindung;

[0039] Fig. 9 zeigt ein erstes Ergebnis einer Wärmeleitfähigkeitsmessung;

[0040] Fig. 10 zeigt ein zweites Ergebnis einer Wärmeleitfähigkeitsmessung; und

[0041] Fig. 11 zeigt ein drittes Ergebnis einer Wärmeleitfähigkeitsmessung.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0042] Die Erfindung kann im Rahmen unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeitsmessungen eingesetzt werden. Insbesondere kann sie für die Auswertung von mikromechanischen Wärmeleitfähigkeitssensorelementen verwendet werden, die getrennte Heiz- und Membrantemperaturfühlerwiderstände haben. Die Erfindung kann aber auch für Sensorelemente eingesetzt werden, die nur einen Heizwiderstand aufweisen, welcher gleichzeitig als Membrantemperaturfühler verwendet wird. In der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der Ausführungsformen wird die Erfindung anhand eines Sensorelementes mit getrennten Heiz- und Membrantemperaturfühlerwiderständen ohne Beschränkung der Allgemeinheit beschrieben.

[0043] In Fig. 3 ist ein elektrisches Ersatzschaltbild eines Wärmeleitfähigkeitssensors dargestellt. Ein Heizwiderstand R_H wird von einem Strom I_H durchflossen, wobei an dem Heizwiderstand R_H eine von der Temperatur T_K abhängige Spannung U_H abfällt. Ein weiterer Widerstand R_{TK} wird von einem Messstrom I_{MK} durchflossen, wobei an dem Widerstand R_{TK} eine von der Temperatur T_K des Körpers abhängige Spannung U_{MK} abfällt. Ein dritter Widerstand R_{TU} wird von einem Strom I_{MU} durchflossen, wobei an dem Widerstand R_{TU} eine von der Temperatur T_U der Umgebung abhängige Spannung U_{MU} abfällt. Der Widerstand R_H dient somit dazu, den Körper auf die Temperatur T_K zu bringen, während der Widerstand R_{TK} einen temperaturabhängigen Spannungsabfall U_{MK} zur Verfügung stellt.

[0044] Fig. 4 zeigt zwei Diagramme zur Erläuterung der Erfindung. In Fig. 4a ist ein möglicher Verlauf des Heizstroms I_H gegen die Zeit t aufgetragen. Der Heizstrom I_H hat einen rechteckförmigen Verlauf, wobei er zum Zeitpunkt t_1 seinen Wert von I_{H2} auf I_{H1} ändert; zum Zeitpunkt t_2 ändert sich der Wert wiederum auf I_{H2} . In Fig. 4b sind diesem Heizstrom entsprechende Temperaturverläufe T_K des erwärmten Körpers, das heißt vorzugsweise der Membran, in Abhängigkeit der Zeit t aufgetragen. Es sind Verläufe der Temperatur T_K in Abhängigkeit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeiten λ des umgebenden Mediums gezeigt, wobei gilt $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$. Es ist zu erkennen, dass die Membrantemperatur T_K bei hohem Heizstrom I_{H2} ansteigt. Wird der Heizstrom zum Zeitpunkt t_1 auf I_{H1} erniedrigt, so sinkt die Membrantemperatur T_K wieder ab. Dieses Absinken setzt sich fort, bis der Heizstrom I_H zum Zeitpunkt t_2 wieder auf I_{H2} erhöht wird. Der Anstieg der Membrantemperatur T_K ist umso steiler je niedriger die Wärmeleitfähigkeit λ des Umgebungsgases ist. Der Abfall der Membrantemperatur T_K ist umso steiler je höher die Wärmeleitfähigkeit λ des Umgebungsgases ist.

[0045] Der Temperaturverlauf während der Aufheizphase gehorcht im Wesentlichen der folgenden Gleichung:

$$T_K(t) = P_H R_{th} \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{th} C_{th}}} \right)$$

[0046] Der Temperaturverlauf während der Abkühlphase verläuft gemäß der nachfolgenden Gleichung:

$$T_K(t) = (T_{K, \max} - T_U) \cdot e^{-\frac{t}{R_{th} C_{th}}}$$

[0047] Dabei bezeichnen:

R_{th} : thermischer Widerstand der Wärmeableitung;

C_{th} : Wärmekapazität der Membran;

$T_{K,max}$: Temperatur der Membran bei Beendigung des Aufheizvorgangs.

[0048] Der thermische Widerstand R_{th} der Wärmeableitung von der Membran setzt sich aus den thermischen Widerständen der Ableitung in das umgebende Trägermaterial, das heißt beispielsweise Silizium, und in das umgebende Gas zusammen.

[0049] Wird bei Zuführung einer bekannten Heizleistung die Zeit betrachtet, die der Sensor benötigt, um die Aufheiz-Abkühlkurve zwischen zwei definierten Temperaturen zu durchlaufen, so ist diese Zeit ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Mediums. Somit ist auch die Zeit, während welcher die Temperatur T_K oberhalb einer Schwellentemperatur T_S liegt, die ebenfalls in Fig. 4b eingezeichnet ist, ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit. Umgekehrt ist auch die Zeit, während welcher die Temperatur T_K unterhalb der Schwellentemperatur T_S liegt, ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit λ . Somit kann die Messung dieser Zeit genutzt werden, um eine direkte Messung des Membrantemperaturfühlerwiderstandes oder des Heizwiderstandes zu umgehen. Eine derartige Zeitmessung ist mit einer digitalen Auswerteschaltung leicht möglich.

[0050] Fig. 5 zeigt den Spannungsverlauf U_{MK} in Abhängigkeit der Zeit t an einem temperaturabhängigen Widerstand, der den in Fig. 4b dargestellten Temperaturänderungen ausgesetzt ist. Wiederum sind drei Kurven in das Diagramm gemäß Fig. 5 eingezeichnet, wobei diese den Spannungsverlauf für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ zeigen. Für die Fertigung der Widerstände kann beispielsweise Platin verwendet werden, welches einen von der Temperatur abhängigen spezifischen elektrischen Widerstand aufweist. Messtechnisch kann somit ein Schwellenwert U_S für die an dem temperaturabhängigen Widerstand abfallende Spannung U_{MK} festgelegt werden. Dieser Schwellenwert wird dann zur Bestimmung der Zeiten verwendet, die letztlich digital ausgewertet werden. Bei hoher Leitfähigkeit des Umgebungsgases, beispielsweise bei einer Leitfähigkeit entsprechend der unteren Kurve in Fig. 5, ist die Zeit kurz, während welcher die Spannung U_{MK} oberhalb des Schwellenwertes U_S liegt. Eine kurze Zeit oberhalb des Schwellenwertes lässt somit einen Rückschluss auf eine hohe Wärmeleitfähigkeit des Umgebungsgases zu. Umgekehrt ist bei niedriger Wärmeleitfähigkeit des Umgebungsgases der Schwellenwert U_S während eines langen Zeitraums überschritten, so dass hieraus auf eine niedrige Wärmeleitfähigkeit des Umgebungsgases rückgeschlossen werden kann.

[0051] Fig. 6 zeigt eine Schaltungsskizze einer Schaltung zur Auswertung der Aufheiz-Abkühlkurve. Die Schaltung gemäß Fig. 6a umfasst einen ersten Stromkreis mit einem Differenzverstärker 10, einem Heizwiderstand 20 und einem weiteren Widerstand 30. Dem positiven Eingang des Differenzverstärkers 10 wird eine Eingangsspannung U_{Ein} eingegeben, welche vorzugsweise eine periodische Rechteckform besitzt, wie dies in Fig. 6b dargestellt ist. In Fig. 6b ist U_{Ein} gegen t aufgetragen. Der negative Eingang des Differenzverstärkers 10 ist über den Widerstand 30 geerdet. Der Ausgang des Differenzverstärkers 10 liefert einen Heizstrom I_H , welcher durch den Widerstand 20 fließt, der einen Wert R_H aufweist. Dieser Wert ist im Allgemeinen temperaturabhängig. Der Stromkreis wird durch eine Verbindung des Widerstandes 20 mit dem negativen Eingang des Differenzverstärkers 10 geschlossen. Somit steht eine Schaltung zur Verfügung, welche periodische Temperaturschwankungen erzeugt, wobei die Periode von dem Verlauf der Eingangsspannung U_{Ein} bestimmt wird. Ein weiterer Stromkreis der Schaltung gemäß Fig. 6a umfasst eine Stromquelle 12, welche einen Messstrom I_{MK} liefert.

[0052] Dieser Messstrom I_{MK} wird im Wesentlichen durch einen Widerstand 18 geleitet, welcher mit Erde verbunden ist und einen temperaturabhängigen Wert R_{TK} aufweist. Der Spannungsabfall über dem Widerstand 18 wird gemessen, indem ein Pol des Widerstandes 18 über einen Widerstand 34 mit dem positiven Eingang eines Differenzverstärkers 36 verbunden ist. Ein weiterer Pol des Widerstandes 18 ist über einen Widerstand 38 mit dem negativen Eingang des Differenzverstärkers 36 verbunden. Der positive Eingang des Differenzverstärkers 36 ist ferner über einen weiteren Widerstand 40 mit Erde verbunden. Der Ausgang des Differenzverstärkers 36 wird über einen Rückkopplungswiderstand 42 auf den negativen Eingang des Differenzverstärkers 36 zurückgeführt. Ebenfalls wird das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 36 dem positiven Eingang eines weiteren Differenzverstärkers 14 zugeführt. Dem negativen Eingang dieses weiteren Differenzverstärkers 14 wird von einer Spannungsquelle 46 eine Schwellenspannung U_S zugeführt. Auf diese Weise wird eine Ausgangsspannung U_{AUS} am Ausgang 14 des Differenzverstärkers 14 erzeugt, deren Periode von der Eingangsspannung U_{Ein} gemäß Fig. 6b abhängt, wobei allerdings das Tastverhältnis von dem Vergleich des aufgrund des Spannungsabfalls am Widerstand 18 erzeugten Signals mit der Schwellenspannung abhängt. Die Ausgangsspannung U_{AUS} wird Mitteln 16 zum digitalen Auswerten zugeführt. Der Verlauf der Ausgangsspannung mit einer beispielhaften Variationsbreite ist in Fig. 6c dargestellt, wo U_{AUS} gegen t aufgetragen ist.

[0053] In Fig. 7 ist in zwei Diagrammen die Abhängigkeit des Tastverhältnisses der Ausgangsspannung U_{AUS} bei konstanter Periode der Eingangsspannung U_{Ein} verdeutlicht. Im oberen Teil sind die Spannungsverläufe von U_{Ein} und U_{AUS} gegen die Zeit aufgetragen, wobei hier die Umgebung eine relativ niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist. Wenn U_{Ein} ein hohes Niveau annimmt, so wird bei niedriger Wärmeleitfähigkeit λ_2 rasch eine hohe Spannung an dem Widerstand 18 gemäß Fig. 6 abfallen. Diese Spannung wird frühzeitig den Schwellenwert U_S überschreiten, so dass die Ausgangsspannung U_{AUS} ebenfalls frühzeitig ihren oberen Wert annimmt. Nach dem Zeitpunkt t_1 , zu dem die Eingangsspannung U_{Ein} auf einen niedrigen Wert beziehungsweise auf Null gebracht wird, dauert es eine vergleichsweise lange Zeit, bis die über dem Widerstand 18 gemäß Fig. 6 abfallende Spannung wieder unter den Schwellenwert U_S abfällt, so dass auch die Ausgangsspannung U_{AUS} erst nach einer vergleichsweise langen Zeit wieder auf ihren unteren Wert abfällt. Bei einer höheren Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Mediums (Gasgemisches) erhöht sich die Temperatur des Widerstandes 18 gemäß Fig. 6 langsamer, so dass es auch länger dauert, bis die an dem Widerstand 18 gemäß Fig. 6 abfallende Spannung den Schwellenwert U_S überschreitet. Demzufolge nimmt die Ausgangsspannung U_{AUS} erst nach einer vergleichsweise langen Zeit ihren oberen Wert an, wie es im unteren Teil von Fig. 7 zu erkennen ist. Nach dem Umschalten der Eingangsspannung U_{Ein} auf einen niedrigen Wert oder auf Null zum Zeitpunkt t_1 geht auch die Ausgangsspannung U_{AUS} rasch auf ihren unteren Wert, da die an dem temperaturabhängigen Widerstand 18 abfallende Spannung rasch wieder unter den Schwellenwert U_S abfällt. Die Länge des Ausgangsspannungssignals U_{AUS} ist somit ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit λ des Umgebungsgases.

[0054] Durch eine geeignete Wahl der Periodendauer der Eingangsspannung U_{Ein} und der Höhe der Schwellenspannung U_s ist eine Einstellung der Empfindlichkeit des Tastverhältnisses auf Wärmeleitfähigkeitsänderungen möglich. Schwankungen der Umgebungstemperatur können durch eine von der Umgebungstemperatur abhängige Lage der Schwellenwertspannung kompensiert werden.

5 [0055] An dieser Stelle wird auch besonders deutlich, dass gegenüber einem statischen Betrieb des Sensors eine stark verringerte Heizleistung in Abhängigkeit der Periodendauer und des Tastverhältnisses des rechteckförmigen Heizstroms erreicht werden kann.

[0056] Fig. 8 zeigt zwei Diagramme zur Erläuterung einer anderen Auswertemöglichkeit der Aufheiz-Abkühlkurve. Bei der Auswertung gemäß Fig. 8 wird nur der Aufheiz-Teil der Aufheiz-Abkühlkurve verwendet. Die nachfolgende Erläuterung dieses Auswerteverfahrens ist exemplarisch für die Auswertung eines Teils der Aufheiz-Abkühlkurve, da beispielsweise auch ausschließlich der Abkühl-Teil der Aufheiz-Abkühlkurve für die Auswertung verwendet werden kann. Im oberen Teil von Fig. 8 sind Spannungen beziehungsweise ein Strom in Abhängigkeit der Zeit t aufgetragen. Wiederum ist der Zeitpunkt t_1 der Zeitpunkt des periodischen "Abschaltens" der Eingangsspannung U_{Ein} , während der Zeitpunkt t_2 der Zeitpunkt des periodischen "Einschaltens" der Eingangsspannung U_{Ein} ist. Der Heizstrom I_H hat einen entsprechenden Verlauf.

15 [0057] Im unteren Teil von Fig. 8 ist die an dem temperaturabhängigen Widerstand 18 abfallende Spannung U_{MK} gegen die Zeit t aufgetragen. Die unterschiedlichen Spannungsverläufe hängen von den unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten λ des Umgebungsgases ab. Bei hoher Wärmeleitfähigkeit λ_1 steigt die Spannung U_{MK} langsam an, wie es im Zusammenhang mit Fig. 5 erläutert wurde. Bei niedrigerer Wärmeleitfähigkeit λ_2 findet ein schnellerer Anstieg der Spannung U_{MK} statt. Ein nochmals schnellerer Anstieg findet bei einer Wärmeleitfähigkeit λ_3 statt, welche geringer ist als die Wärmeleitfähigkeit λ_2 . Folglich wird bei hoher Wärmeleitfähigkeit der Schwellenwert U_s , welcher im unteren Teil der Fig. 8 eingezeichnet ist, zu einem späten Zeitpunkt überschritten, das heißt zu einem Zeitpunkt, welcher nahe bei dem Zeitpunkt t_1 liegt. Folglich erreicht die Ausgangsspannung U_{AUS} zu einem Zeitpunkt kurz vor dem Zeitpunkt t_1 das hohe Niveau. Bei höherer Wärmeleitfähigkeit λ_2 des Umgebungsgases erreicht die Spannung U_{MK} früher den Schwellenwert U_s . Folglich erlangt auch die Ausgangsspannung U_{AUS} früher das hohe Niveau. Bei noch höherer Spannung erreicht die Spannung U_{MK} noch früher den Schwellenwert U_s . Auch die Ausgangsspannung erreicht mithin zu einem sehr frühen Zeitpunkt vor t_1 das hohe Niveau. Bezeichnet man den Zeitraum zwischen dem Übergang der Ausgangsspannung von niedrigem Niveau auf hohes Niveau und dem Zeitpunkt t_1 mit ΔT_{High} , so lässt sich durch die Messung der Werte für ΔT_{High} auf die Wärmeleitfähigkeiten des Umgebungsgases rückschließen.

30 [0058] In den Fig. 9 bis 11 sind drei Auswertergebnisse mikromechanischer Wärmeleitfähigkeitssensoren dargestellt, welche auf der vorliegenden Erfindung basieren. Die unterschiedlichen Signale, welche in den Fig. 9 bis 11 dargestellt sind, können unterschiedlich skaliert sein, obwohl sie in demselben Diagramm dargestellt sind.

[0059] Fig. 9 zeigt ein Auswertergebnis mit reiner Luft als Umgebungsgas. Es liegt somit ein System mit vergleichsweise geringer Wärmeleitfähigkeit vor. Die Eingangsspannung U_{Ein} ist eine Rechteckspannung. Die über dem temperaturabhängigen Widerstand 18 gemäß Fig. 6 abfallende Spannung U_{MK} steigt mit dem "Einschalten" der Eingangsspannung U_{Ein} an, und sie erreicht sehr schnell die Schwellenspannung U_s . Die Ausgangsspannung liegt daher auch praktisch unmittelbar nach dem Einschalten der Eingangsspannung U_{Ein} auf hohem Niveau. Nach dem Ausschalten der Eingangsspannung U_{Ein} sinkt auch die Spannung über dem Widerstand 18 gemäß Fig. 6 ab. Allerdings sinkt sie erst sehr spät unter die Schwellenspannung U_s ab. Die Ausgangsspannung kann daher auch erst sehr spät den niedrigen Wert annehmen. In der Darstellung gemäß Fig. 9 ist es sogar so, dass das Abfallen der Ausgangsspannung nur als kurzer "Zacken" des Ausgangsspannungsverlaufes zu erkennen ist. Das Tastverhältnis der Ausgangsspannung beträgt somit nahezu 100%. Eine solche Einstellung der Schwellenspannung U_s und der Periodendauer der Eingangsspannung U_{Ein} bietet sich an, wenn Beimischungen von Gasen zu Luft untersucht werden sollen. Es liegt somit von vornherein eine Normierung der Auswertergebnisse vor.

45 [0060] Fig. 10 zeigt Messergebnisse für ein Umgebungsgas, welches aus 50 Vol.-% Luft und 50 Vol.-% Helium besteht. Das Gas weist aufgrund des Heliumanteils eine im Vergleich zu reiner Luft stark vergrößerte Wärmeleitfähigkeit auf. Aus diesem Grund steigt die Kurve U_{MK} in Fig. 10 langsamer an als die Kurve U_{MK} in Fig. 9, so dass der Schwellenwert U_s von der Spannung U_{MK} erst später erreicht wird, als im Fall von Fig. 9 bei reiner Luft. Folglich nimmt auch die Ausgangsspannung U_{AUS} erst zu einem späteren Zeitpunkt den oberen Wert an. Nach dem "Ausschalten" der Eingangsspannung U_{Ein} sinkt die Spannung U_{MK} wieder ab. Wenn sie die Schwellenspannung U_s unterschreitet geht auch die Ausgangsspannung auf ihren unteren Wert zurück. Es liegt ein mittleres Tastverhältnis der Ausgangsspannung U_{AUS} vor.

55 [0061] In Fig. 11 sind Auswertungsergebnisse für reines Helium dargestellt. Es liegt somit ein Gas mit einer sehr hohen Wärmeleitfähigkeit vor. Demzufolge ist die Ausgangsspannung U_{AUS} während einer vergleichsweise kurzen Zeit auf hohem Niveau und für eine längere Zeit auf niedrigem Niveau.

[0062] Dem Fachmann ist klar, dass mit der vorliegenden Erfindung nicht nur die Wärmeleitfähigkeit von Gasen und Gasgemischen, sondern auch diejenige von anderen Medien, beispielsweise von Flüssigkeiten, gemessen werden kann.

60 [0063] Die vorhergehende Beschreibung der Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihre Äquivalente zu verlassen.

Patentansprüche

- 65 1. Vorrichtung zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit mit Mitteln (10) zum Bereitstellen einer Heizspannung, Mitteln (12) zum Bereitstellen eines Messstroms und Mitteln (18) zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls, dadurch gekennzeichnet,

- dass die Mittel (10) zum Bereitstellen einer Heizspannung eine sich zeitlich verändernde Heizspannung zur Verfügung stellen und
dass Mittel (14) zum Vergleichen des temperaturabhängigen Spannungsabfalls mit einer Schwellenspannung und zum Erzeugen einer sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung vorgesehen sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass die Ausgangsspannung einen ersten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall unterhalb der Schwellenspannung liegt, und
dass die Ausgangsspannung einen zweiten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall oberhalb der Schwellenspannung liegt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (10) zum Bereitstellen einer Heizspannung eine periodisch gepulste Heizspannung zur Verfügung stellen.
4. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel (16) zum digitalen Auswerten der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung vorgesehen sind.
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass die Mittel (16) zum digitalen Auswerten der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung einen Zähler aufweisen und
dass ein Tastverhältnis der Ausgangsspannung ausgewertet wird.
6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls einen temperaturabhängigen Widerstand (18) umfassen.
7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der temperaturabhängige Widerstand (18) ein Platinwiderstand ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (18) zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls auf einer Membran angeordnet sind.
9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (10) zum Bereitstellen einer Heizspannung mit einem Heizwiderstand (20) zusammenwirken.
10. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls und der Heizwiderstand identisch sind.
11. Verfahren zum Messen einer Wärmeleitfähigkeit mit den Schritten:
Bereitstellen einer Heizspannung,
Bereitstellen eines Messstroms und
Erzeugen eines temperaturabhängigen Spannungsabfalls,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine sich zeitlich verändernde Heizspannung zur Verfügung gestellt wird,
dass der temperaturabhängige Spannungsabfall mit einer Schwellenspannung verglichen wird und
dass eine sich zeitlich verändernde Ausgangsspannung erzeugt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,
dass die Ausgangsspannung einen ersten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall unterhalb der Schwellenspannung liegt, und
dass die Ausgangsspannung einen zweiten Wert hat, wenn der temperaturabhängige Spannungsabfall oberhalb der Schwellenspannung liegt.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine periodisch gepulste Heizspannung zur Verfügung gestellt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die sich zeitlich verändernde Ausgangsspannung digital ausgewertet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet,
dass zur digitalen Auswertung der sich zeitlich verändernden Ausgangsspannung ein Zähler verwendet wird und
dass ein Tastverhältnis der Ausgangsspannung ausgewertet wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der temperaturabhängige Spannungsabfall mittels eines temperaturabhängigen Widerstandes (18) erzeugt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass als temperaturabhängiger Widerstand (18) ein Platinwiderstand verwendet wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bereitstellen einer Heizleistung ein Heizwiderstand (20) verwendet wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass als temperaturabhängiger Widerstand und als Heizwiderstand derselbe Widerstand verwendet wird.
20. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeleitfähigkeit eines Gases gemessen wird.
21. Verwendung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas ein Gasgemisch ist.
22. Verwendung nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass eine quantitative Analyse eines Gasgemisches durchgeführt wird.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

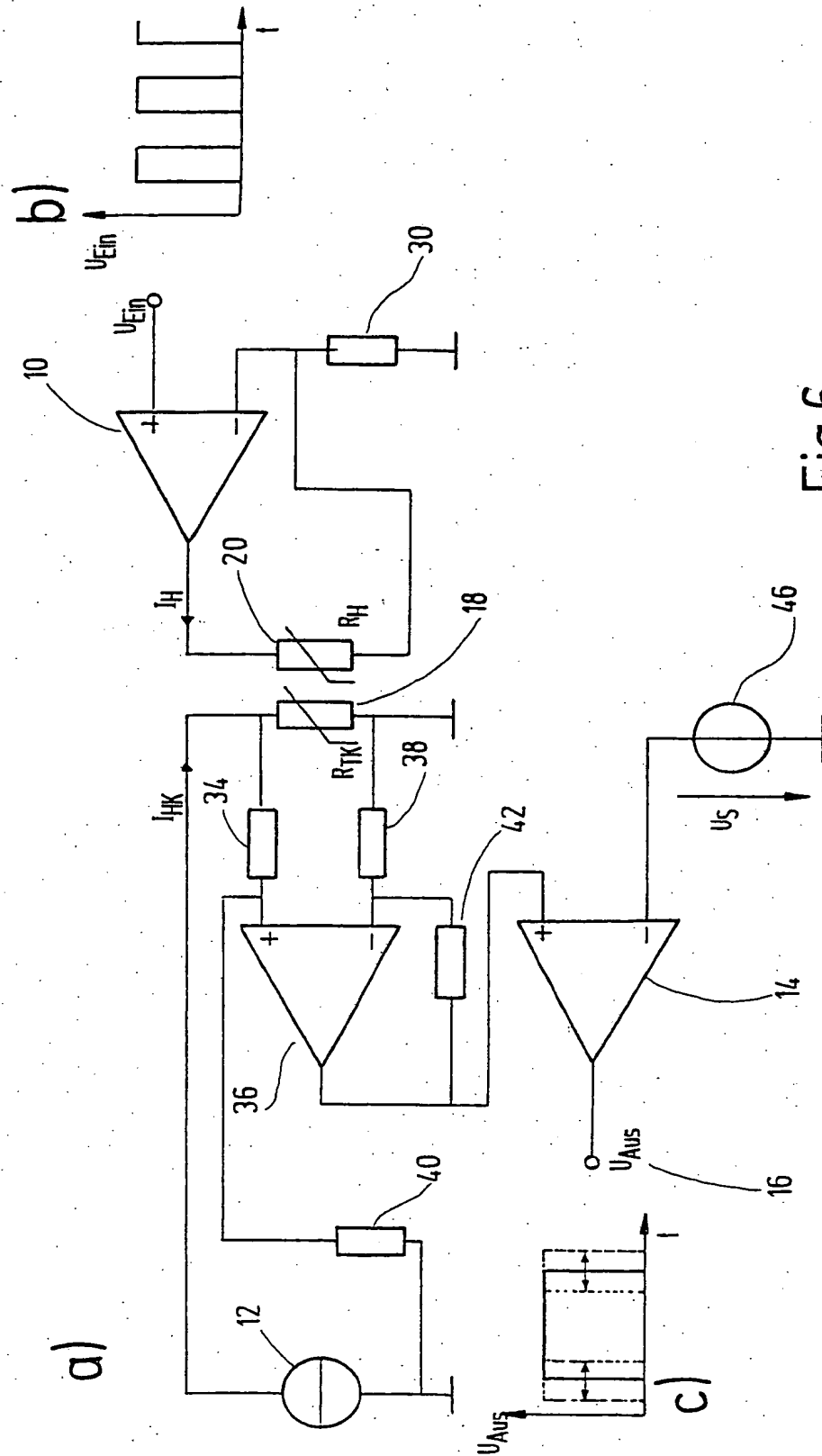


Fig. 6

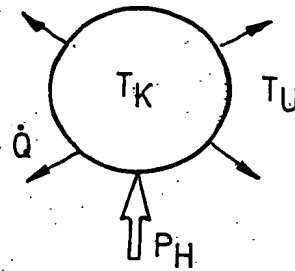


Fig.1
STAND DER TECHNIK

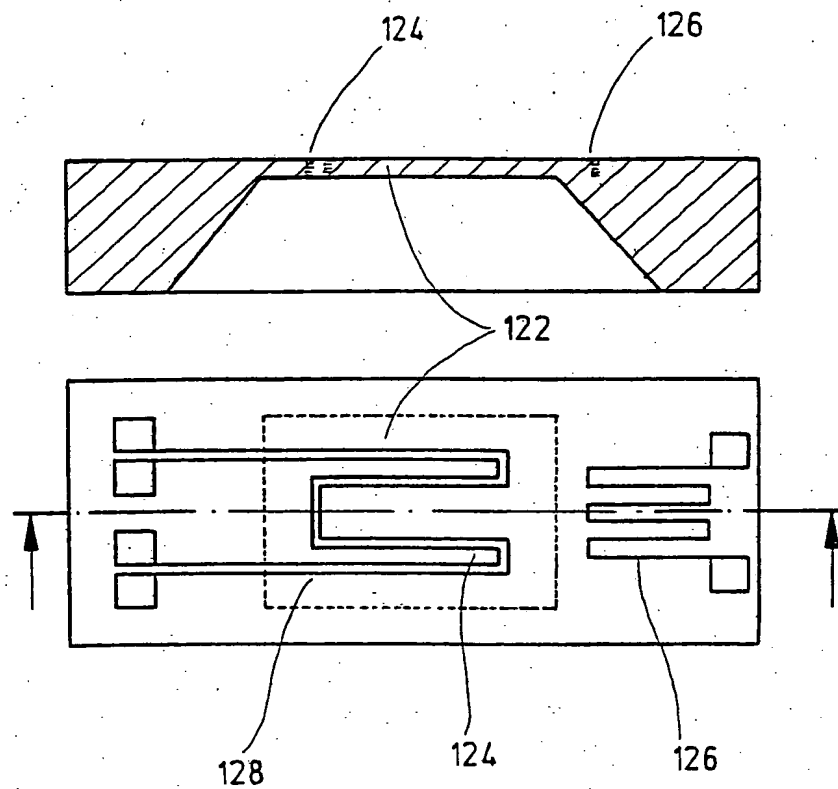


Fig.2
STAND DER TECHNIK

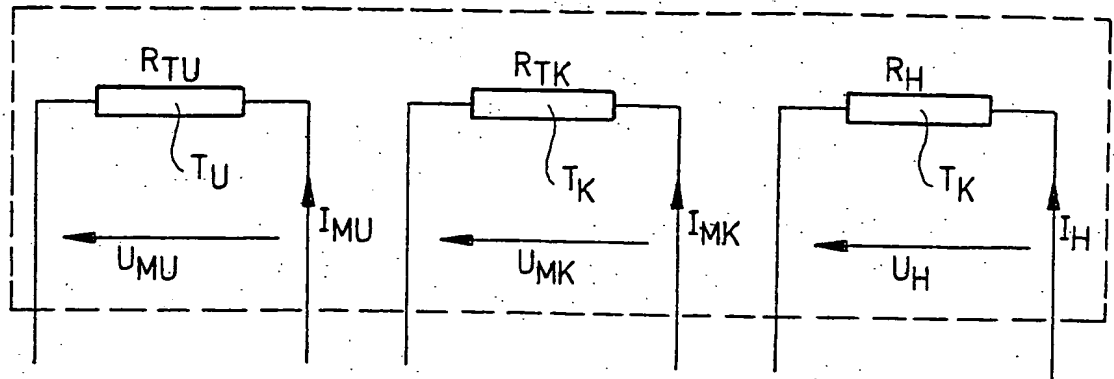


Fig.3

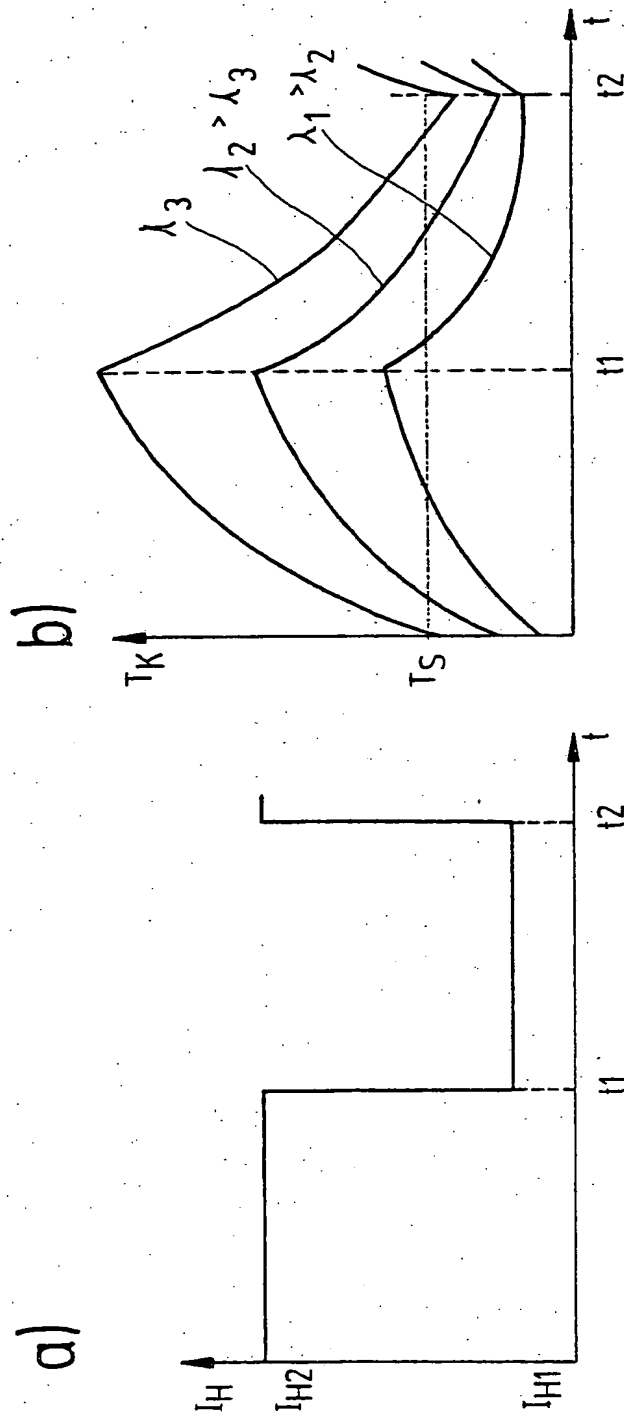


Fig.4

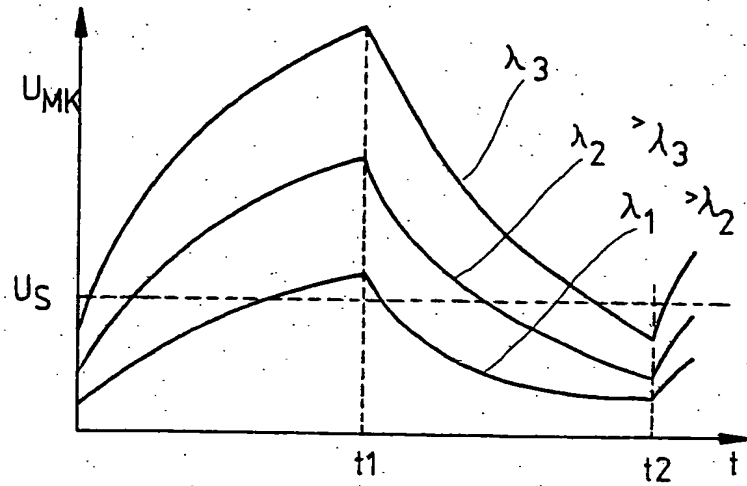


Fig.5

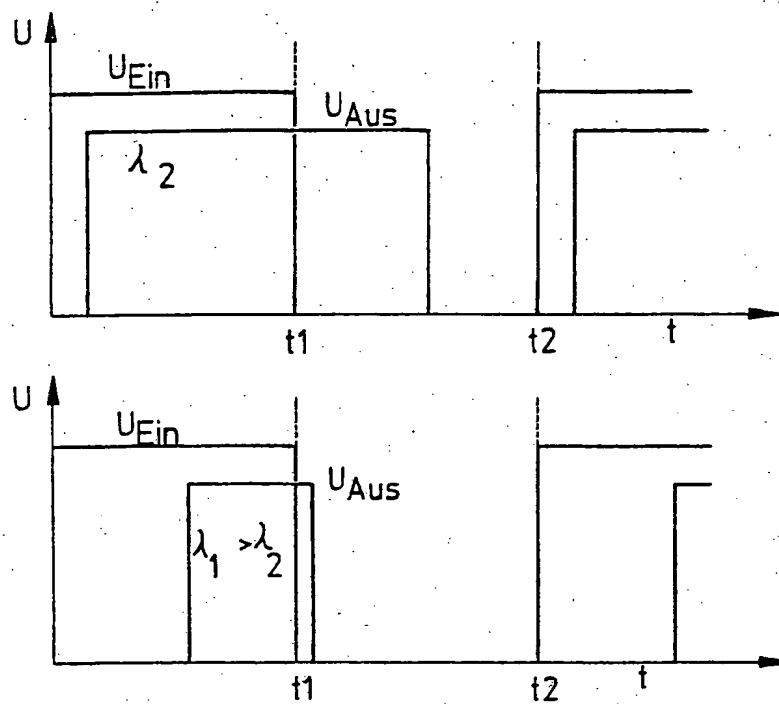


Fig.7

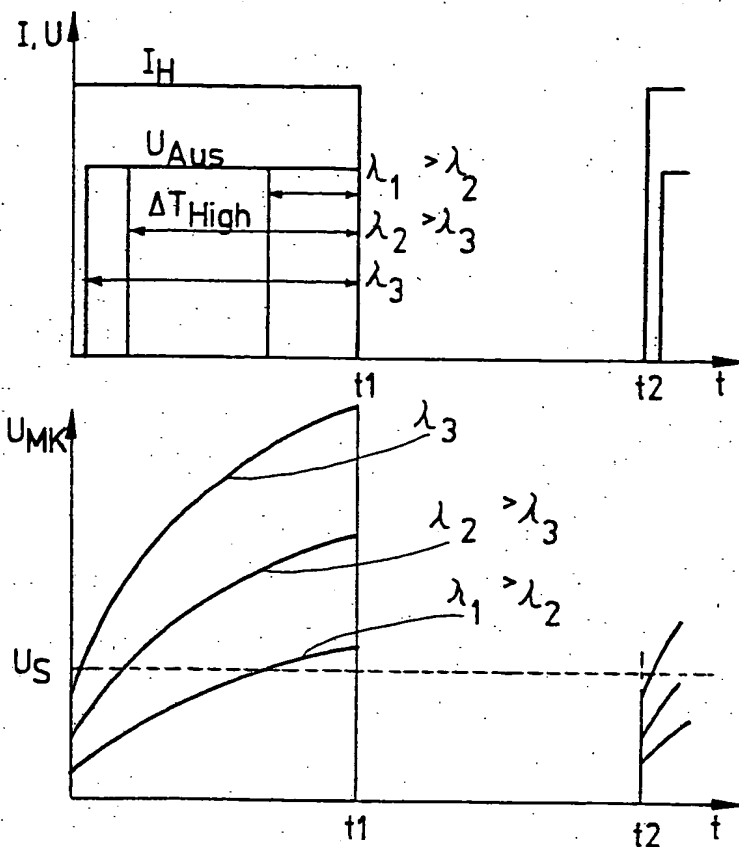


Fig.8

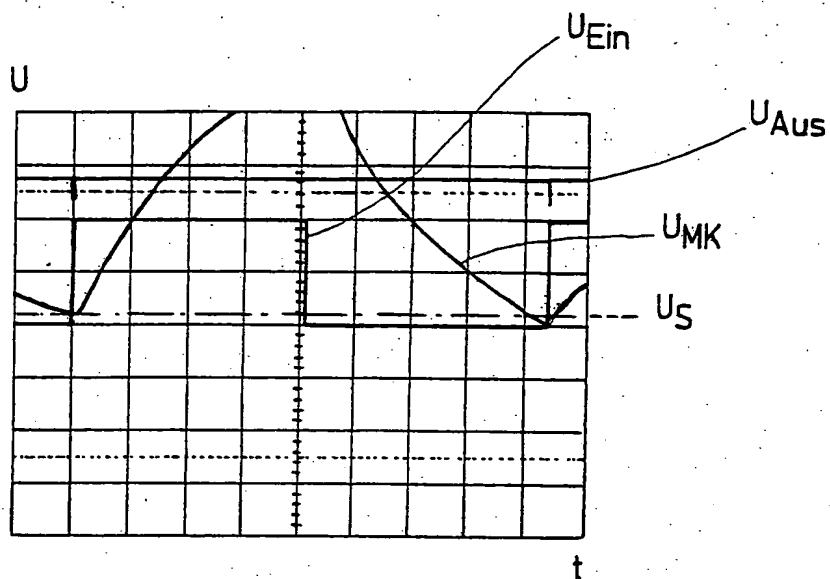


Fig.9

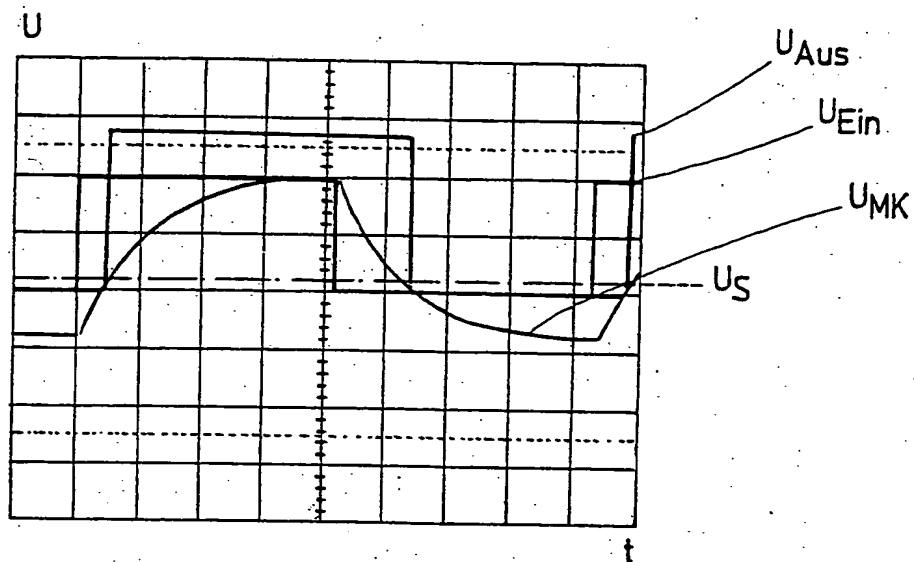


Fig.10

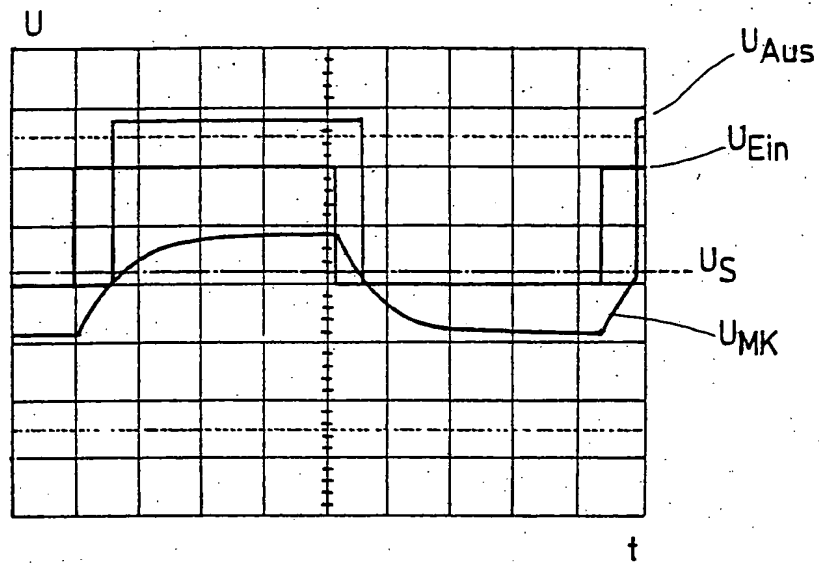


Fig.11

Patent Number: WO02059588

Publication date: 2002-08-01

Inventor(s): ARNDT MICHAEL (DE)

Applicant(s): BOSCH GMBH ROBERT (DE); ARNDT MICHAEL (DE)

Requested Patent: DE10103658

Application Number: WO2002DE00265 20020125

Priority Number(s): DE20011003658 20010127

IPC Classification: G01N25/18

EC Classification: G01N27/18

Equivalents:

Cited patent(s): DE19624683; EP0439950; GB2349216; EP0039956; US5335993; JP1124753

The invention relates to a device for measuring a thermal conductivity, comprising elements (10) for providing a heating voltage, elements (12) for providing a measuring current and elements (18) for generating a temperature-dependent voltage drop. The elements (10) for providing a heating voltage make available a heating voltage that alters over time. Said device is also provided with elements (14) for comparing the temperature-dependent voltage drop with a threshold voltage and for generating an output voltage that alters over time. The invention also relates to a method for measuring a thermal conductivity.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

DOCKET NO: P2002, 1013

SERIAL NO: _____

APPLICANT: Martin Perner

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100